

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA ROBOTIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robotiky

Lineární výsuv podpěry nohy s mechanickým zajišťováním

Linear Extension of Leg Support with Mechanical Locking

Student: Lukáš Káňa

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Bronislav Siuda

Ostrava 2017

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Káňa**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R013 Robotika
Téma: **Lineární výsuv podpěry nohy s mechanickým zajišťováním**
Linear Extension of a Leg Support with Mechanical Locking
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Analyzujte současný stav mechanismu pro výsuv podpěry nohy porodní postele a současný způsob jejího mechanického zajištění.
 - 2) Na základě této analýzy vytvořte požadavkový list, respektujte požadavky konzultanta z firmy BORCAD.
 - 3) Navrhněte několik variant řešení, které by vylepšily stávající uzel. Vyberte nejvhodnější variantu.
 - 4) Vybranou variantu podrobně zpracujte, doložte potřebnými výpočty a výkresovou dokumentací. Rozsah dokumentace podle pokynů vedoucího práce.
 - 5) V závěru zhodnoťte navrženou variantu a vypočítejte výrobní náklady navržené úpravy.
- Práci též doložte v elektronické podobě, ve formátu editoru MS WORD a konstrukční řešení v CAD systému (podle pokynů vedoucího).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. [online]. [cit. 2012-11-07]. Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace>](http://robot.vsb.cz/pozadavky-na-prace)
- [2] ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
- [3] ISO 690. *Bibliografické citace: Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [4] Moodle, kurz: Technická dokumentace ZS 2016. [online]. [cit. 2016-10-13]. Dostupné z [www: <http://lms.vsb.cz/course/view.php?id=5803>](http://lms.vsb.cz/course/view.php?id=5803)
- [5] HAVLÍK, J. *Výpočty a konstrukce strojních dílů*. [online]. [cit. 2016-10-13]. Dostupné z [www: <http://robot.vsb.cz/file.php/vypocty-a-konstrukce-strojnich-dilu.pdf>](http://robot.vsb.cz/file.php/vypocty-a-konstrukce-strojnich-dilu.pdf)
- [6] E-Konstrukter. *Portál pro strojní konstruktéry*. [online]. [cit. 2016-10-13]. Dostupné z [www: <http://e-konstrukter.cz/>](http://e-konstrukter.cz/)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.**

Konzultant bakalářské práce: Ing. Bronislav Siuda

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



prof. Dr. Ing. Petr Novák
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 15.5. 2017

Kaňka Lukáš

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15.5. 2017

Káňa Lukáš

podpis

Jméno a příjmení autora práce: Lukáš Káňa

Adresa trvalého pobytu autora práce: Dlouhá 80/212, 747 17 Darkovice

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KÁŇA, Lukáš. *Lineární výsuv podpěry nohy s mechanickým zajišťováním*. Ostrava, 2017, 52 s. Bakalářská práce. VŠB-Technická Univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Robotiky. Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

Tato bakalářská práce pojednává o konstrukčním řešení lineárního výsuvu podpěry nohy s mechanickým zajišťováním. Je zde proveden prvotní návrh konstrukce, zhodnocení návrhu, detailní zpracování, pevnostní výpočet funkčních částí, problematika samosvornosti a určení ceny daného návrhu.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KÁŇA, Lukáš. *Linear extension of leg support with mechanical locking*. Ostrava, 2017, 52p. Bachelor Thesis. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotic. Thesis head: doc. Ing. Zdeněk Konečný, Ph.D.

This bachelor thesis deals with the design of a linear extension of the leg support with mechanical locking. There is an initial design proposal, design evaluation, detailed processing, strength control of functional parts, problems of self-locking and price determination of the design.

Obsah

Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
Seznam použitých značek a symbolů	10
Slovník termínů	11
Úvod	12
1. Analýza – Přehled – Rešerše	13
1.1 Funkce jednotlivých dílů	14
1.2 Použité materiály a technologie	16
1.3 Silové zatížení mechanismu	17
1.4 Cena jednotlivých komponent	17
1.5 Nevýhody stávajícího řešení	18
2. Požadavkový list	19
3. Varianty řešení	20
3.1 Blokovací plynová pružina	20
3.2 Vylepšené stávající řešení	23
3.3 Jednosměrný zámek	25
4. Vícekriteriální analýza	27
5. Detailní zpracování vybraného řešení	30
5.1 Provedené úpravy	30
6. Výpočty	34
6.1 Návrh svěrného spoje	34
6.2 Návrh ozubeného hřebene	37
6.3 Kontrola zubu na střih	41
7. Samosvornost mechanismu	42
8. Výrobní náklady	44
Závěr	49
Seznam použité literatury	51

Seznam obrázků

obr. 1 Model mechanismu	13
obr. 2 Zadní část mechanismu	14
obr. 3 Silové zatížení mechanismu	17
obr. 4 Ceny jednotlivých komponent.....	17
obr. 5 Schéma blokovací plynové pružiny.....	20
obr. 6 Bowdenový systém uvolňování.....	22
obr. 7 Zjednodušený model	22
obr. 8 Spoj svařence a oz.hřebene.....	23
obr. 9 Zjednodušená sestava vylepšeného řešení.....	24
obr. 10 Schéma zámku.....	25
obr. 11 Zjednodušená sestava jednosměrného zámku	26
obr. 12 Ozubený hřeben.....	30
obr. 13 Páka zámku.....	31
obr. 14 Svěrka	31
obr. 15 Držák ozubeného hřebene	32
obr. 16 Sestava mechanismu.....	33
obr. 17 Schéma svěrného spoje.....	34
obr. 18 Vstupní parametry výpočtu	35
obr. 19 ávrh rozměrů spoje a návrh šroubu	36
obr. 20 Únostnost a pevnostní kontrola svěrného spoje	36
obr. 21 Schéma ozubení.....	37
obr. 22 Silové zatížení	40
obr. 23 Detailní rozbor sil	40
obr. 24 Průřez materiálu páky	41
obr. 25 Průřez materiálu hřebene	41

Seznam tabulek

tab. 1 Požadavkový list	19
tab. 2 Parametry plynové pružiny	21
tab. 3 Váhy jednotlivých kritérií	27
tab. 4 Úrovně pro jednotlivá kritéria	28
tab. 5 Bodové ohodnocení	28
tab. 6 Tabulka výpočtu	29
tab. 7 Tabulka vstupních parametrů svěrného spoje	35
tab. 8 Parametry ozubení	38
tab. 9 Vstupní hodnoty pro výpočet samosvornosti	42
tab. 10 Ozubený hřeben Matis	44
tab. 11 Ozubený hřeben T.E.A Technik	44
tab. 12 Tabulka ceny tyče	45
tab. 13 Cena nákladů na výrobu tyče	45
tab. 14 Tabulka ceny materiálu páky	45
tab. 15 Cena nákladů na výrobu páky	45
tab. 16 Tabulka ceny plechu držáku	46
tab. 17 Cena nákladů na výrobu držáku	46
tab. 18 Tabulka ceny plechu svěrky	46
tab. 19 Cena nákladů na výrobu svěrky	47
tab. 20 Cena za spojovací materiál	47
tab. 21 Cena za montáž	47
tab. 22 Celková cena	48

Seznam použitých značek a symbolů

Značení	Význam	Jednotka
b	průřez materiálu	mm
Ca	hlavová vůle	mm
F	Síla	N
f	koeficient tření	-
F ₀	Předpětí ve šroubu	N
F _N	Normálová síla	N
F _P	Síla plynové pružiny	N
F _T	Třecí síla	N
F _x	Síla v ose x	N
F _y	Síla v ose y	N
G	Tíha	N
h	průřez materialu	mm
h	výška zubu	mm
h _a	výška hlavy zubu	mm
h _f	výška paty zubu	mm
i	počet	-
k	bezpečnost	-
l	vzdálenost posunutí zatížení	mm
l _z	Délka závítu	mm
L _z	Zástavbová délak	mm
m	vzdálenost pružiny od osy	mm
M _F	Moment od zatížení	N*m
M _K	Kroutící moment	N*m
M _P	Moment vyvozený pružinou	N*m
P	Síla pružiny	N
p	rozteč	mm
R _{fmax}	zaoblení paty zubu	mm
v	rychlost vysunutí plynové pružiny	m*s
z	Zdvhyh	mm
τ _{Ds}	dovolené napětí ve smyku	MPa
τ _s	napětí ve smyku	MPa
φ _d	průměr výsuvné tyče	mm
φ _D	průměr objímky	mm
φ _{dp}	průměr pístnice	mm
φ _{Dv}	průměr válce	mm
α	úhel boku zubu	°
β	úhel rozložení síly	°

Slovník termínů

Otěr	Opotřebení, které se vyskytuje u vzájemně pohyblivých součástí, které po sobě tzv. kloužou
Bowden	Ohebný lanovod s ocelovým lankem
Creep	Tečení, vliv zvýšených teplot na vlastnosti materiálu
HB	Zkouška tvrdosti podle <i>Brinella</i>
Komaxit	Povrchová úprava kovů práškovým plastem
PE 500	Polyetylen s molekulovou hmotností (500.000 g/mol)
Polyamid	Tuhý plast snášející vysokou zátěž
POM	Známý také jako polyacetal nebo acetal. Jde o termoplastický polymer využívaný k výrobě přesných dílů
PTFE	Polytetrafluorethylen, fluorovaný polymer
Samosvornost	Schopnost dvojice mechanických součástí zabránit za určitých podmínek jejich vzájemnému pohybu
Tvrdé chromování	elektrochemický proces, používaný k nanesení vrstvy chromu na podkladový materiál

Úvod

Tato bakalářská práce je zpracovávána pro společnost Borcad cz s.r.o. která se zabývá výrobou kolejové a zdravotní techniky. Ve zdravotní technice se zabývá vývojem, konstrukcí a výrobou porodních postelí, gynekologických, transportních a dialyzačních křesel. Cílem této práce bylo analyzovat a vylepšit stávající mechanismus, který je součástí opěrky nohy na porodní posteli a tak odstranit nevýhody stávajícího konceptu. Mechanismus musí zajistit bezproblémový výsuv tyče podpírající nohu, bezpečnou aretaci polohy a zajistit jednoduchou ovladatelnost.

Na základě analýzy a požadavků, které musí mechanismus splňovat, je navrženo několik variant na úpravu, zhodnoceno a vybrána nejlepší varianta, která je detailně zpracována. Vybrána varianta je doložena odpovídajícími výpočty k dané problematice a jsou vypočteny náklady na výrobu.

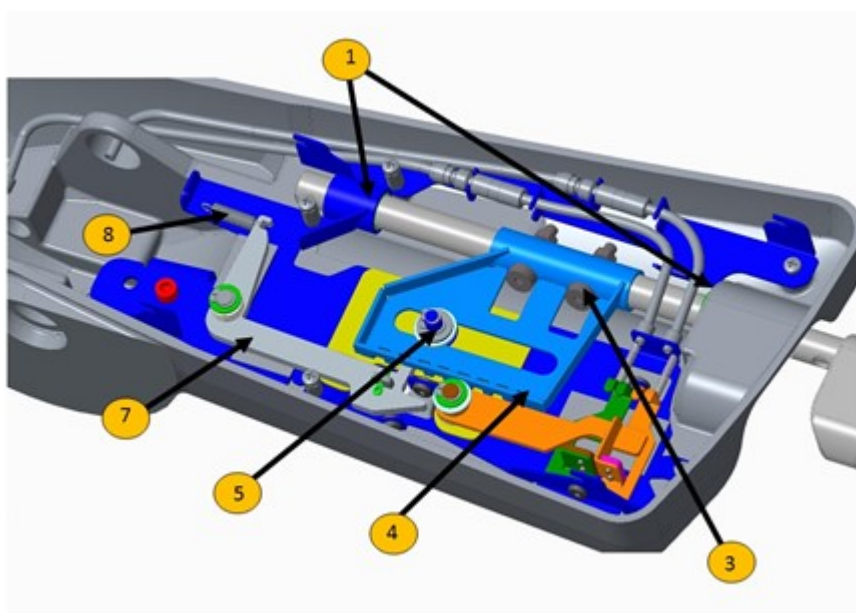
1. Analýza – Přehled – Rešerše

Analyzovaný mechanismus je součástí nohy porodní postele, která je vyvíjena firmou BORCAD cz s.r.o. Tato česká firma se zabývá výrobou kolejové a zdravotnické techniky více než 20 let, nabízí kompletní sortiment pro interiéry osobních vlaků. Sedadla značky BORCAD jsou například ve vlaku Pendolino a Leo Express. Ve zdravotnické technice se zabývá vývojem, konstrukcí a výrobou porodních postelí, gynekologických, transportních a dialyzačních křesel. Firma BORCAD patří v tomto odvětví ke světové špičce a dokazují to její úspěchy. V roce 2011 a 2012 získala ocenění Red-Dot.51[1]

Mechanismus se skládá z několika částí, které jsou zobrazeny na obr. 1 a obr. 2.

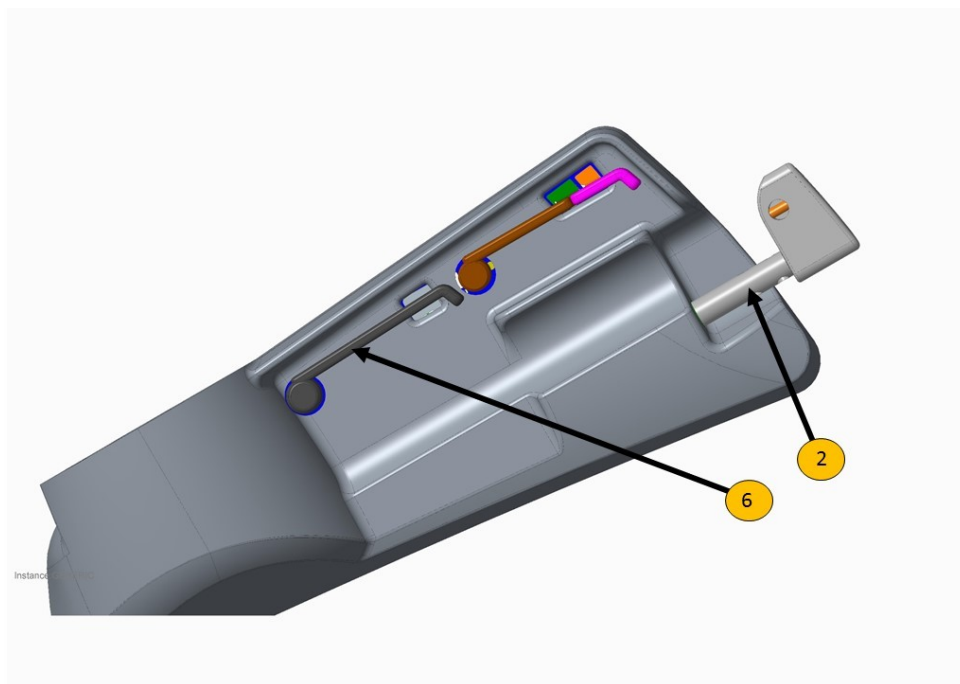
1. pouzdra uložení
2. výsuvná tyč
3. lícované šrouby
4. svařenec
5. čep s příložkou
6. ovládací páka
7. páka zámku
8. pružina

Další komponenty jako jsou lanka, zbylé páky a samotný odlitek mají zůstat zachovány. Jejich rozměry a poloha jsou dané. V odlitku jsou povoleny drobné úpravy. Maximální rozměry mechanismu jsou určeny tvarem a velikostí odlitku, nízká zástavba mechanismu.



obr. 1 Model mechanismu

Zbylé komponenty jsou zobrazeny na následujícím obrázku obr. 2.



obr. 2 Zadní část mechanismu

1.1 Funkce jednotlivých dílů

- **Pouzdra (1)** - slouží jako vedení výsuvné tyče a jako výchozí body
-rozměry a poloha je daná konstrukcí

Kluzná pouzdra jsou suchá kluzná ložiska určená pro přenos radiálního zatížení. Tyto kluzná pouzdra vyžadují minimální prostor a umožňují rotační i kyvný pohyb. Jejich výhodou je plynulý chod, dobré kluzné vlastnosti, nízký koeficient tření a jsou odolná vůči nečistotám

- **Výsuvná tyč (2)** - uložena v kluzných pouzdrech
-zajišťuje výsuv cca 70mm
-výsuv nesmí být menší než 70mm, větší výsuv výhodou
-spojena se svařencem pomocí lícovaných šroubů (3)

-
- **Svařenec (4)** - na svařenci jsou vytvořeny zuby (zarážky), které mají za úkol aretaci polohy společně s pákou zámku
 - ve stávajícím řešení je zde 7 kroku odstupňovaných po 10mm
 - jemnější odstupňování výhodou

 - **Čep (5)** - zabraňuje nadzvedání svařence spojeného s výsuvnou tyčí
 - čep musí procházet přes příložku, která je spojena s rámem. Příložka je zde nutná kvůli vyplnění mezery, která je mezi svařencem a rámem a zabraňuje nadzvedání svařence při momentovém zatížení výsuvné tyče

 - **Ovládací páka (6)** - jedná se o svařenec, který je následně namáčen v plastu
 - páka zámku se otáčí vlivem stisknutí ovládací páky, je uložena na čepu v kluzném pouzdru
 - ovládací páka je spojena s pákou zámku tvarovým stykem a je zajištěna závlačkou proti vypadnutí

 - **Páka zámku (7)** - jedná se o výpalek
 - slouží k aretaci polohy
 - dotýká se o gumový doraz

 - **Pružina (8)** - je spojena s rámem a pákou zámku
 - má za úkol vracet páku zámku do původní polohy po uvolnění ovládací páky a tím způsobuje zacvaknutí páky zámku do jednotlivých zubů

1.2 Použité materiály a technologie

V mechanismu jsou použity jednotlivé materiály:

- nerezová ocel
- konstrukční ocel
- plasty

Korozivzdorná ocel (nerezová ocel) je vysoce legovaná ocel se zvýšenou odolností vůči chemické i elektrochemické korozi. Pro své odolné vlastnosti je hojně využívána ve zdravotnictví, hodí se například pro výrobu chirurgických nástrojů, které jsou přímo v kontaktu s lidskou tkání.

Konstrukční oceli jsou nejčastěji používanými kovovými materiály. Legováním uhlíkem a dalšími prvky a kombinací tepelného a tepelně-mechanického zpracování je možno ovlivnit vlastnosti ocelí v širokém rozmezí a tak jejich vlastnosti přizpůsobit zamýšlenému použití.

Plasty jsou materiály, které díky svým různorodým vlastnostem a vysoké kvalitě nacházejí stále větší uplatnění ve všech průmyslových oborech. Materiál se vyznačuje vysokou pevností, tvrdostí, houževnatostí při chladu, má nízký kluzný odpor, vysokou mez únavy, dobré izolační a tlumicí vlastnosti, vhodný pro kluzné použití, odolnost proti otěru

Mechanismus byl vytvořen následujícími technologiemi:

soustružení, frézování, svařování, vypalování, ohýbání, vrtání, úprava povrchů (komaxit, tvrdochrom)

Tvrdé chromování neboli tvrdochrom je elektrochemický proces, používaný k nanesení vrstvy chromu na podkladový materiál. Tvrdé neboli funkční chromování se používá tam, kde je potřeba vysoké tvrdosti a otěruvzdornosti nebo prodloužení životnosti dílů. Jednou z výhod tvrdého chromování je možnost nanášet silné vrstvy.

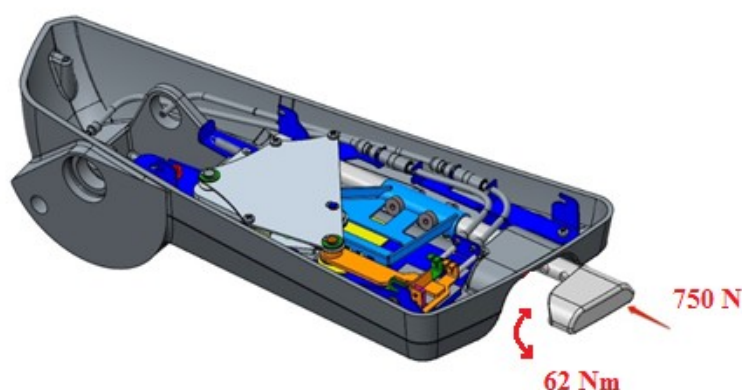
Komaxit je povrchová úprava kovů práškovým plastem. Plast se nanáší elektrostaticky na kovový povrch. Jelikož tato povrchová úprava neuvolňuje žádné závadné chemické látky, je vhodná k použití ve zdravotnictví. Výhodou této povrchové úpravy je kvalita povrchové úpravy, rovnoměrnost nánosu povrchové úpravy a vysoká životnost dílů.

1.3 Silové zatížení mechanismu

Silové zatížení mechanismu je znázorněno na obr. 3.

Silové zatížení – je způsobeno tíhou nohy a zatěžuje výsuvnou tyč v přímém směru

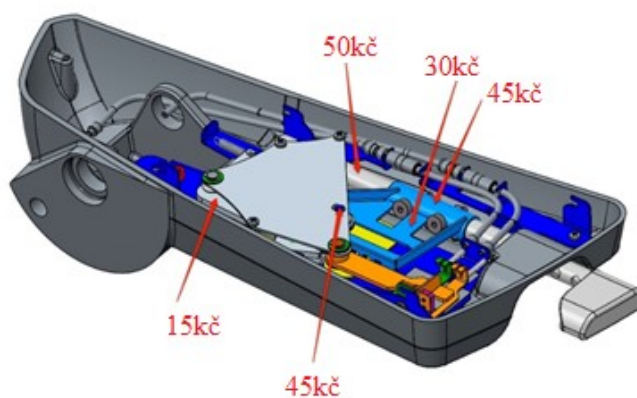
Momentové zatížení – je způsobeno tím, že noha pacientky není nikdy uložena v ose výsuvné tyče



obr. 3 Silové zatížení mechanismu

1.4 Cena jednotlivých komponent

Celková cena mechanismu se odvíjí od jednotlivých komponent a jejich způsobu výroby, nákupu a kvality. Ukázka jednotlivých cen stávajícího mechanismu je zobrazena na obr. 4.



obr. 4 Ceny jednotlivých komponent

1.5 Nevýhody stávajícího řešení

Stávající mechanismus má několik nevýhod, které jsou popsány níže.

- **Hluk**
- **Otěr**

Hluk- je způsoben zacvaknutím kovové páky zámku od jednotlivých zarážek, tento zvuk je nepříjemný a měl by být odstraněn.

Otěr – je způsoben, když se kovová páka zámku dostane do polohy mezi jednotlivými zuby. Po uvolnění ovládací páky dojde k tomu, že pružina se snaží dostat páku zámku zpět do původní polohy. Následné zaskočení páky zámku způsobuje otěr jak na páce zámku, tak na zubu o který sklouzává.

2. Požadavkový list

Jednotlivé požadavky byly určeny z rešerše a současného stavu mechanismu.

tab. 1 Požadavkový list

Výchozí body	kluzné pouzdra
	rozměry odlitku
	konstrukce odlitku
Výsuv	min. 70 mm
Odstupňování	5 mm
Materiály	Nerezová ocel
	Konstrukční ocel
	Plasty
Zástavba	nízká
Speciální požadavek	odstranění hlučnosti
	odstranění otěru

Specifikace listu:

Výchozí body jako kluzná pouzdra, rozměry odlitku a celková konstrukce odlitku musí zůstat zachovány a nezměněny.

Výsuv tyče je požadován minimálně 70 milimetrů, vyšší výsuv je výhodou pro dané řešení. Odstupňování jednotlivých kroků je požadováno po 5 milimetrech, jemnější odstupňování je výhodou pro dané řešení.

Dané řešení musí být zhotoveno z vhodných a dostupných materiálů.

Celková velikost zástavby daného řešení nesmí přesahovat svými rozměry konstrukci odlitku a negativně ovlivňovat funkční komponenty, které jsou součástí odlitku.

Kovový hluk vyvozený daným řešením, tento zvuk je nepříjemný a měl by být odstraněn.

Odstranění otěru je zásadní pro funkčnost, spolehlivost a životnost mechanismu.

3. Varianty řešení

V rámci analýzy předchozího stavu, jsou navrženy tři odlišné varianty na možnou úpravu stávajícího uzlu mechanismu.

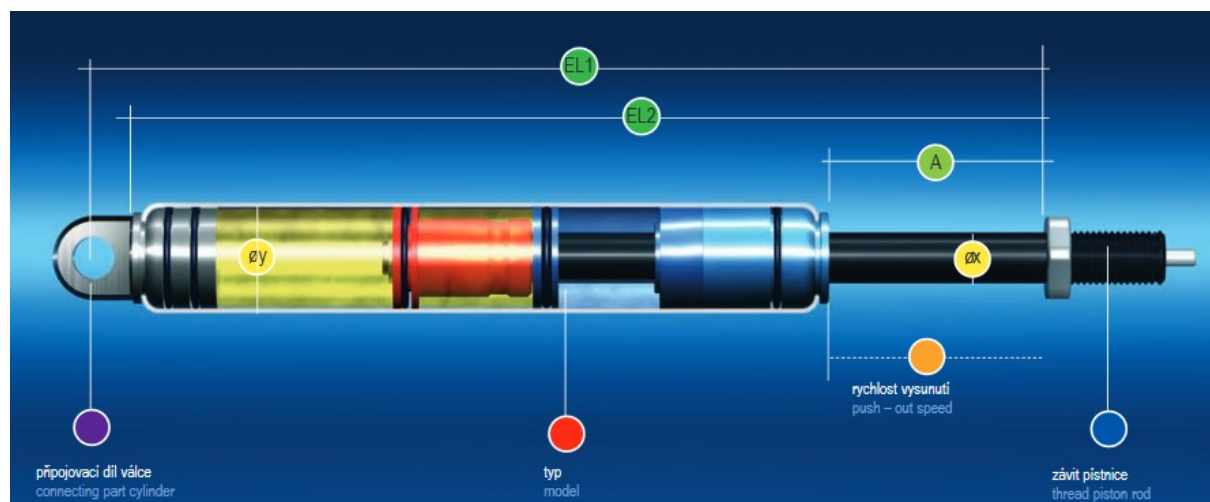
3.1 Blokovací plynová pružina

Plynové vzpěry jsou mechanismy fungující jako pružiny, které se typicky používají ke zvedání a polohování. Skládají se z ocelového válce a pístnice. Válec je naplněn natlakovaným inertním plynem, nejčastěji dusíkem, a na straně pístnice je uzavřen těsněním, které zajišťuje výsuv pístnice bez úniku plynu a ztráty tlaku.

Princip spočívá v tom, že se pístnice zasouvá do uzavřeného válce, v důsledku toho se zmenšuje jeho vnitřní objem a zvyšuje se zde tlak. Působením tohoto tlaku na plochu pístnice vzniká síla, která pístnici plynové vzpěry vytlačuje ven.

Blokovací plynovou pružinu lze zablokovat v jakékoliv požadované poloze celého zdvihu ovládáním uvolňovacího kolíku.

K návrhu této plynové pružiny byl použit katalog firmy Bibus, schéma blokovací plynové pružiny viz. obr. 5.[2]



obr. 5 Schéma blokovací plynové pružiny

Dle katalogu byly navrženy předběžné parametry a typ pružiny.

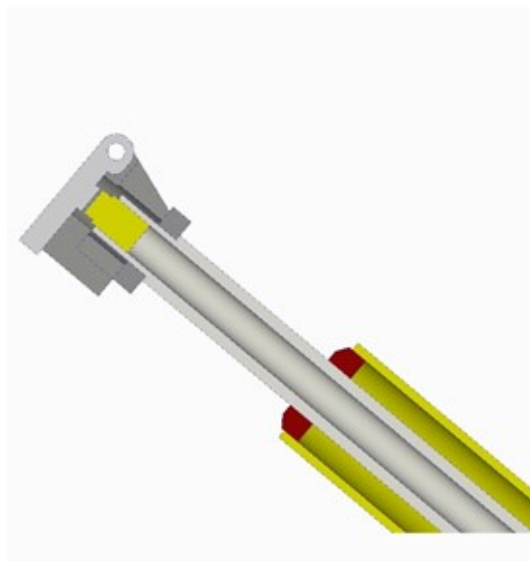
tab. 2 Parametry plynové pružiny

Parametry blokovací plynové pružiny	
Síla pružiny	750 N
Typ	P
závit pístu	M8x1
délka závitu	16 mm
rychlost vysunutí	0.2 m/s
průměr pístnice	10 mm
průměr válce	22 mm
zdvih	70 mm
zástavbová délka	300 mm

Použití pružiny:

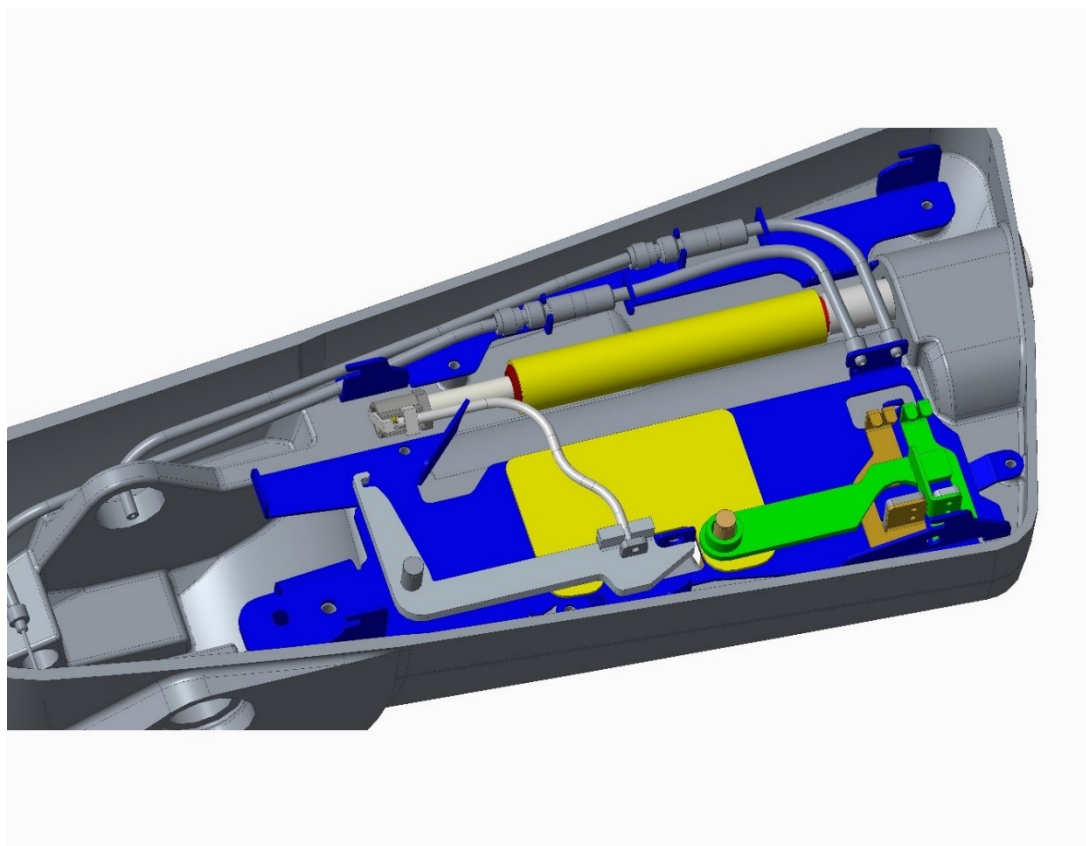
Jako pohon pro výsuv tyče byla použita blokovací plynová pružina. Plynová pružina bude ovládána přes bowdenový systém uvolnění viz. obr. 6. Bowden bude připevněn k ovládací páce. Druhý konec bowdenu bude připevněn k ovládacímu táhlu. Při pohybu ovládací pákou dojde k natažení ocelového lanka uvnitř bowdenu. Při natažení ocelového lanka dojde k posuvu ovládacího táhla, které stlačí ovládací kolík pružiny a dojde k výsuvu. Po uvolnění ovládací páky dojde k aretaci plynové pružiny v požadované výšce výsuvu.

Jelikož je zde mnoho variant jak kombinovat koncovky pružiny, byla zvolena kombinace závitu na straně pístu, který je zašroubován do výsuvné tyče. Na pístnici byl zvolen bowdenový systém uvolňování jak je znázorněno na obr. 6.



obr. 6 Bowdenový systém uvolňování

Instalace této plynové pružiny může být v jakékoliv poloze, byla zvolena svislá poloha a to pístnicí směrem dolů jak je znázorněno na zjednodušeném modelu viz. obr. 7.



obr. 7 Zjednodušený model

3.2 Vylepšené stávající řešení

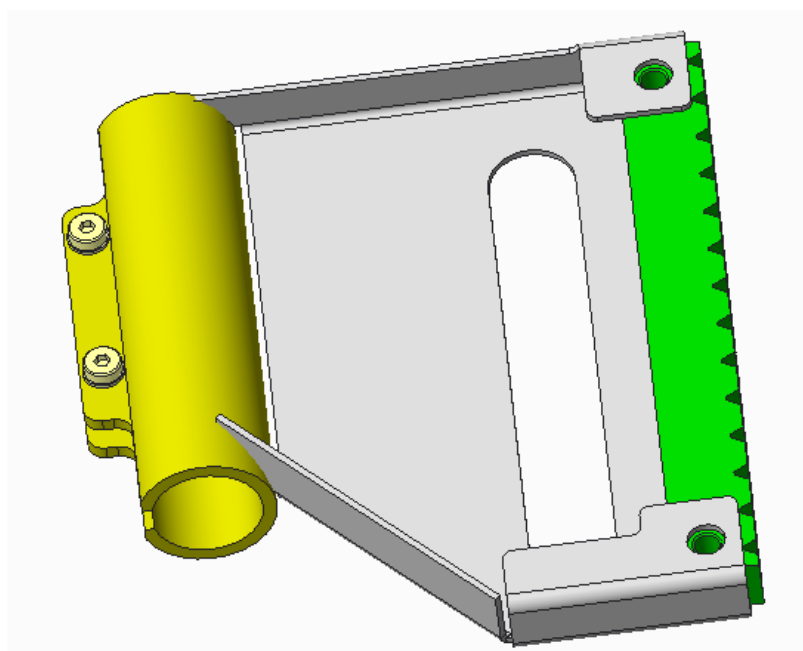
Toto řešení využívá stávající stav mechanismu a jeho konstrukci. Od tohoto stavu se odvíjí vylepšení a konstrukce prvků mechanismu.

Vylepšení jsou odvozeny z požadavkového listu

1. Výsuv

Aby bylo dosaženo jemnějšího odstupňování při stejné délce výsuvu 70mm, bylo zvoleno odstupňování po 5 mm, to znamená 14 kroků.

Odstupňování zajistím pomocí svařence, který je pevně spojen s výsuvnou tyčí. Spoj svařence a výsuvné tyče jsem zvolil pomocí svěrného spoje. Svařenec bude držet ozubený hřeben. Spoj svařence s ozubeným hřebenem je znázorněn na obr. 8. Svěrný spoj by se skládal z rozříznuté trubky a dvou svařených plechů, ve kterých by byly otvory pro spojovací šrouby.



obr. 8 Spoj svařence a oz.hřebene

2. Použité materiály

Nerezová ocel – tento materiál byl zvolen pro jeho dobrou odolnost vůči korozi, dále je bez potíží svařitelný a není potřeba tepelné úpravy po svařování. Nerezová ocel je vysoce houževnatá a je dobře tvárná. Je velmi hojně používána ve zdravotnickém průmyslu.

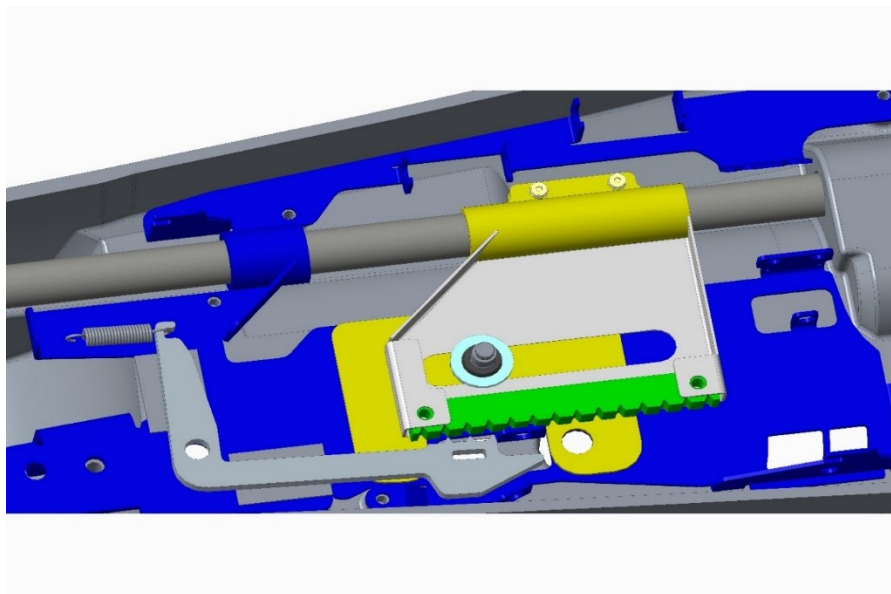
Konstrukční ocel – materiály s vyšším stupněm tvrdosti např.: 500, 600 HB. Použité oceli by měli mít dobrou odolnost vůči otěru nebo vhodnou povrchovou úpravu např.: tvrdé chromování, komaxit, zušlechtění. Dále bych volil oceli s vyšší pevností a dobře svařitelné.

Plasty – byly zvoleny plasty s vysokou pevností a odolností vůči oděru. Chemicky odolné, zdravotně nezávadné, snadno zpracovatelné, odolné vůči opotřebení a s vysokou tuhostí a houževnatostí, např.: PE 500, Polyamid, PTFE.

3. Speciální požadavky

Otěr – Pro odstranění otěru byly použity vhodné materiály s vyšším stupněm tvrdosti, kluznými materiály a vhodnou povrchovou úpravou. Dále by bylo vhodné upravit tvar součástí, které jsou opotřebovávány otěrem.

Odhlučnění – Odhlučení bylo odstraněno použitím plastového ozubeného hřebene, některé druhy plastů dokáží tlumit zvuk.

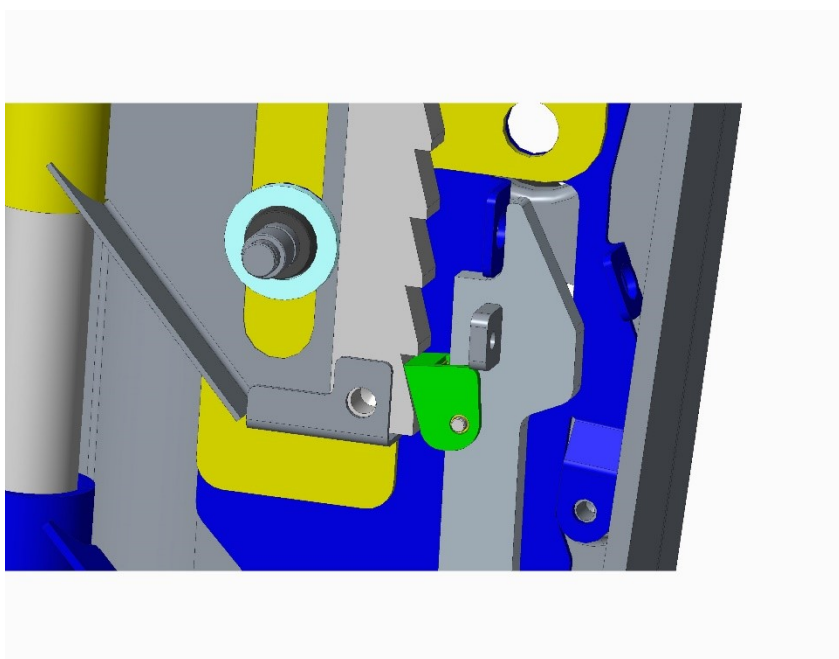


obr. 9 Zjednodušená sestava vylepšeného řešení

3.3 Jednosměrný zámek

Tvarový hřeben je velice podobný ozubenému hřebenu, kdy základní profil evolventního ozubení je řez ozubením základního hřebenu, který je vlastně ozubený segment kola o nekonečně velkém poloměru roztečné kružnice, která přejde v roztečnou přímku.

Tímto způsobem byl vytvořen tvarový hřeben podle principu rohatka-západka, jak je vidět na obr. 10.

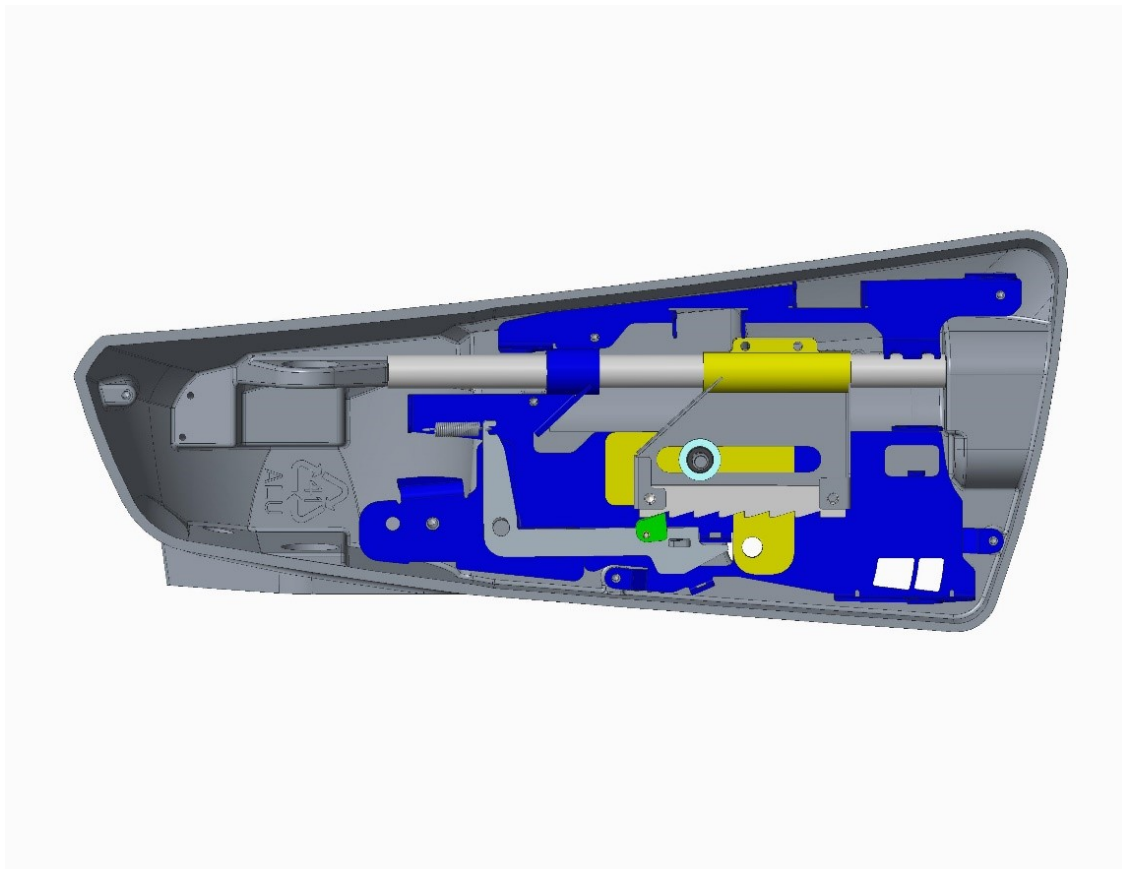


obr. 10 Schéma zámku

Princip:

Při pohybu nahoru výsuvnou tyčí, by západkový zub vykonával kyvný pohyb, tím jak je zub tvarován a umožňoval by tak pohyb nahoru. Hřeben je tvarově upraven, tak aby šikmina zubu stlačovala západkový zámek. Při pohybu dolů by zub aretoval polohu tím, že ho bude přitlačovat torzní pružina a zároveň se bude opírat o páku. K uvolnění polohy by došlo pohybem ovládací páky. Návrat páky do původní polohy by byl způsoben tažnou pružinou, jako je tomu u stávajícího řešení.

Výsuv by byl omezen čepem, aby západkový zub nevypadl z tvarového hřebene a zároveň by zabráňoval klopným momentům výsuvné tyče.



obr. 11 Zjednodušená sestava jednosměrného zámku

Tento tvarový hřeben by byl upevněn v plechovém držáku, který by byl spojen s výsuvnou tyčí pomocí svěrného spoje. Svěrný spoj by se skládal z rozříznuté trubky a dvou svařených plechů, ve kterých by byly otvory pro spojovací šrouby. Výsledné řešení je uvedeno na obr. 11.

4. Vícekriteriální analýza

Charakteristika kritérií:

K1 – **BEZPEČNOST**- mechanismus se nesmí samovolně uvolnit

K2 – **ZÁSTAVBA**- nízká zástavba pro mechanismus, musí být zachovány výchozí body a rozměry

K3 – **VÝSUV**- minimální výsuv mechanismu musí být 70 mm

K4 – **ODSTUPŇOVÁNÍ**- jemnější odstupňování výhodou

K5 – **OTĚR**- mechanismus by měl být navržen tak, aby jednotlivé součásti nepodléhali otěru

K6 – **HLUČNOST** – mechanismus by neměl být příliš hlučný

Určení váhy kritéria:

Mezi jednotlivá kritéria bylo rozděleno 100 bodů

tab. 3 Váhy jednotlivých kritérií

Kritérium	Body
K1-Bezpečnost	25
K2-Zástavba	20
K3-Výsuv	15
K4-Odstupňování	10
K5-Otěr	25
K6-Hlučnost	5
Součet bodů	100

Bodovací metoda:

Zde byly zvoleny úrovně pro jednotlivá kritéria

tab. 4 Úrovně pro jednotlivá kritéria

Vysoká úroveň	6
Dobrá úroveň	5
Průměrná úroveň	4
Nízká úroveň	3
Nevyhovující úroveň	2
Nepříznivý stav	1

- A. Řešení s blokovací plynovou pružinou
- B. Upravené stávající řešení
- C. Řešení s jednosměrným zámkem

tab. 5 Bodové ohodnocení

Kritérium	A	B	C
K1	6	6	6
K2	4	5	5
K3	5	5	5
K4	3	6	3
K5	5	5	3
K6	4	5	3
Σ	28	31	25

Pomocí výpočtu byla určena procentuální váha kritérií.

Výpočet pro kritérium K1 varianty B:

a= bodová váha kritéria B = 25 bodů

b= úroveň kritéria = 6

$$x = \frac{a \cdot b}{100} = \frac{25 \cdot 6}{100} = 1,5 \%$$

tab. 6 Tabulka výpočtu

Kritérium	A	B	C
K1	1,5	1,5	1,5
K2	0,8	1	1
K3	0,75	0,75	0,75
K4	0,3	0,6	0,3
K5	1	1,5	0,75
K6	0,2	0,25	0,15
Σ	4,95	5,15	4,45

Z tohoto výpočtu danému zadání nejlépe vyhovuje varianta B – upravené stávající řešení.

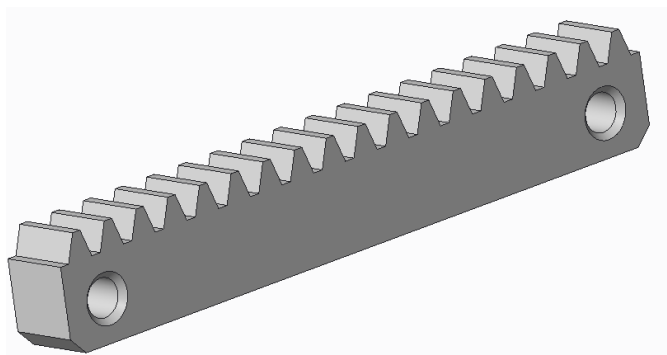
5. Detailní zpracování vybraného řešení

Tato kapitola se bude zabývat vybraným řešením, detailně zpracovávat jednotlivé komponenty, úpravy a změny. Toto vybrané řešení doložím odpovídajícími výpočty a provedu výpočet výrobních nákladů navrženého mechanismu. Úpravy byly provedeny ve vybraném řešení dle kritériální analýzy, která byla rovněž upravena a byla přehodnocena váha jednotlivých kritérií.

5.1 Provedené úpravy

Ozubený hřeben- hřeben byl v první fázi navrhnut s menším odstupňováním oproti předchozímu řešení, to mělo za následek nevhodnou geometrii ozubení. Při této geometrii zubů by docházelo k vypadávání páky a mechanismus by nesplňoval aretační funkci a bezpečnost.

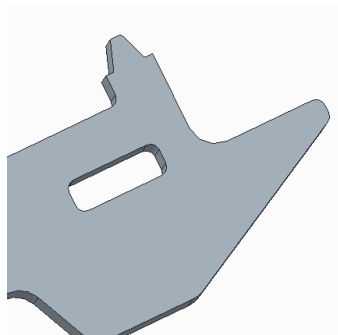
Hřebenu byla navržena optimální geometrie, materiál, vhodná rozteč a odpovídající počet zubů.



obr. 12 Ozubený hřeben

Páka zámku – Původní páka zámku měla tři zuby k zabezpečení polohy. Vlivem výrobních tolerancí by nebylo možné, aby přesně dosedly všechny tři zuby a tak aretovaly polohu. V podstatě i při použití pouze dvou zubů dojde k tomu, že jeden zub bude nepolohovaný naprosto přesně a vlivem výrobních tolerancí druhý zub bude mírně posunutý. Toto posunutí způsobí, že ani jeden zub nedosedne naprosto přesně a spojení tak nebude samosvorné – zuby budou náchylné na vyskočení, a navíc celou sílu bude přenášet pouze jeden zub.

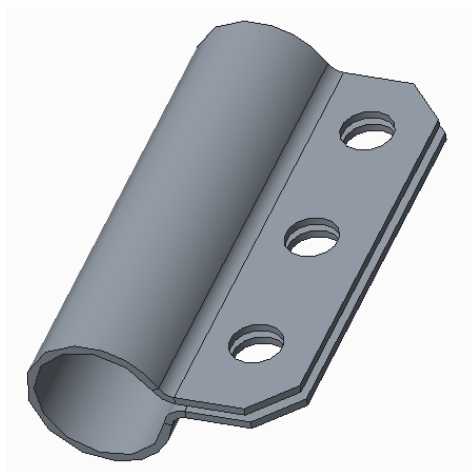
Páka byla upravena na geometrii odpovídající protikusu ozubeného hřebene a byl ponechán pouze jeden zub.



obr. 13 Páka zámku

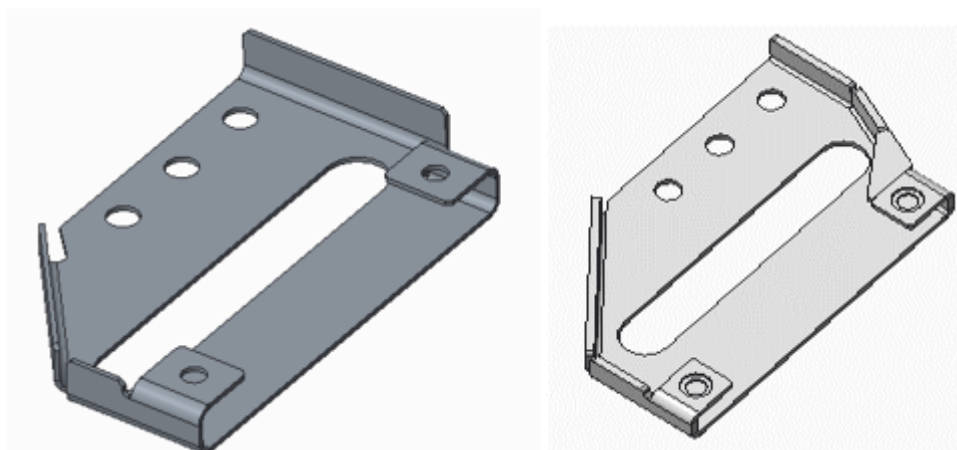
Svěrný spoj – Předěšlý svěrný spoj byl navrhnout jako svařenec trubky a dvou plechů. Při svařování by mohly vzniknout deformace, které by ovlivnili tvar trubky. Po tomto svařování by musela následovat úprava díry trubky. Bez této úpravy by spoj nebyl spolehlivý a nezaručoval by pootočení tyče.

Byl navrhnout zcela nový svěrný spoj, svěrka. Tento spoj je z jednoho kusu plechu, který je upraven do podoby viz.obr. 14. Spojen je s plechem pomocí šroubů, nikoli pomocí svařování jako v předchozím řešení pro odstranění veškerých deformací od svařování.



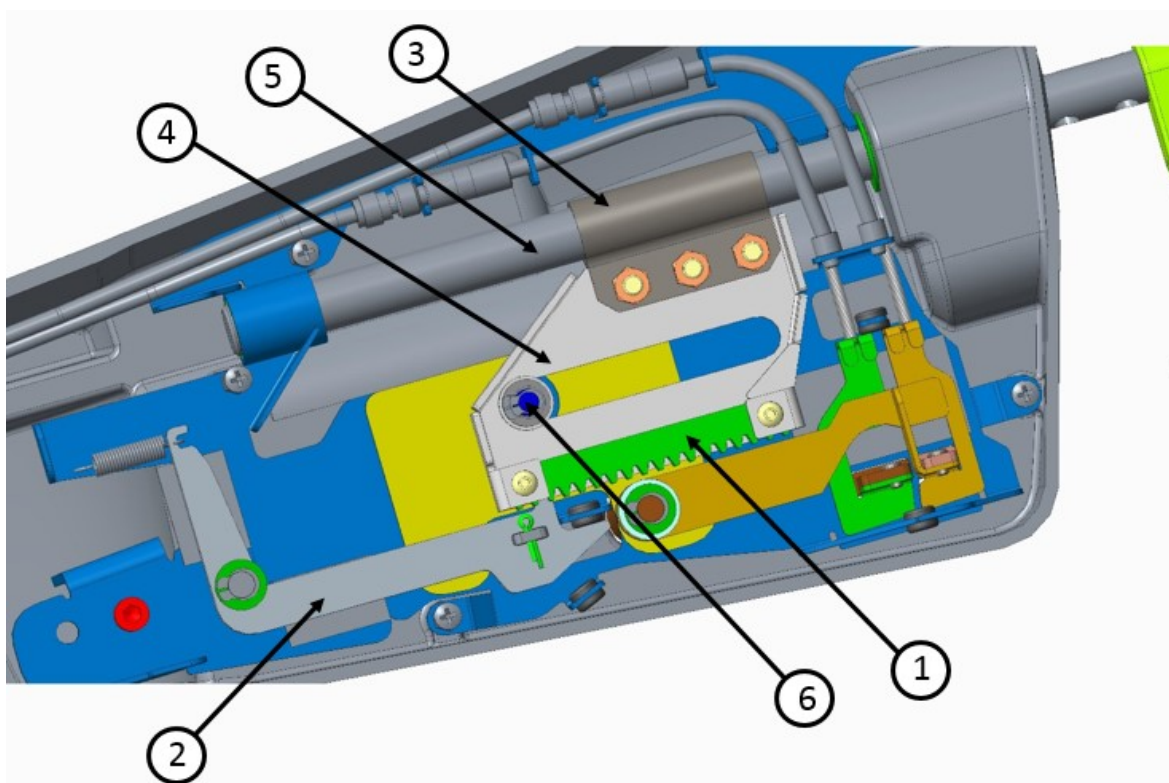
obr. 14 Svěrka

Držák ozubeného hřebene – Tento plech musel být upraven pro svou velikost a neskladnost uvnitř odlitku, také byl upraven tak aby mohl být spojen se svěrkou pomocí šroubů. Vzniklé rohy byly upraveny a ostré hrany zkoseny. V tomto případě byla posunutá středová drážka blíže k svěrnému spoji, kvůli velikosti hřebene. To má za následek posunutí i čepu, který je v drážce a zabraňuje klopným momentům tyče. Při přemístění čepu došlo i přemístění děr ve spodním nosném plechu, které slouží pro bodové svařování. Tento plech byl upraven dalším způsobem tak, že jeho tloušťka byla zvětšena na dvojnásobek a plech byl mírně zkosen. Nastříhnuté rohy byly upraveny pro svaření a ke zkosení byl navařen plech ve tvaru trojúhelníku, aby nedošlo k ohybu plechu viz. obr. 15.



obr. 15 Držák ozubeného hřebene

Celková sestava byla doplněna o všechny zbývající komponenty a spojovací materiál.



obr. 16 Sestava mechanismu

1. Ozubený hřeben
2. Páka zámku
3. Svěrka
4. Držák ozubeného hřebene
5. Výsuvná tyč
6. Čep

6. Výpočty

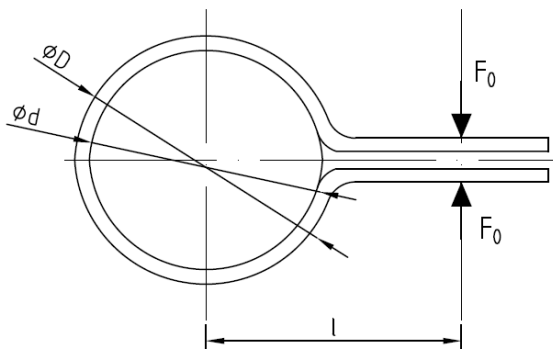
Tato část se bude zabývat návrhem a výpočtem konkrétních důležitých prvků, jako je svěrné spojení, ozubený hřeben.

6.1 Návrh svěrného spoje

V této části bude navržen svěrný spoj sevřením na válcové ploše, základní parametry a provedeme základní výpočet a kontrolu svěrného spoje. Spoj slouží k spojení tvarového plechu držící ozubený hřeben a výsuvné tyče. Výpočet provedeme v programu MITCalc.[3]

Vstupní parametry

Základní parametry vycházející z návrhu a konstrukce spoje



obr. 17 Schéma svěrného spoje

tab. 7 Tabulka vstupních parametrů svěrného spoje

Význam	Znak	Hodnota	Jednotka
bezpečnost	k	1,3	-
délka objímky	L	50	mm
krouticí moment	Mk	62	N*m
počet šroubu	i	3	-
průměr objímky	D	18	mm
průměr tyče	d	16	mm
součinitel tření	f	0,18	-
vzdálenost šroubu	l	20	mm

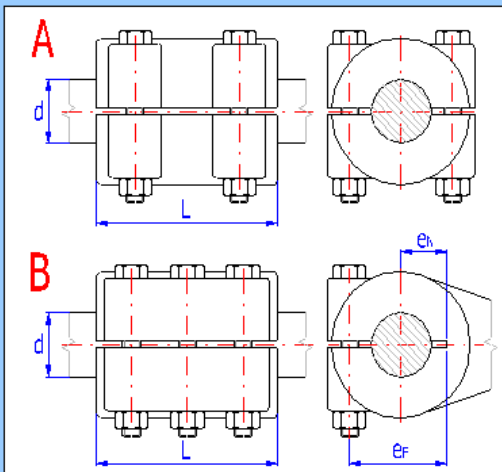
V programu MITCalc je uveden přenášený výkon a otáčky hřídele jen pro výpočet krouticího momentu. Tyto hodnoty se v tomto řešení svěrného spoje nevyskytují a proto potom již nemají ve výpočtu význam.

1.0 <input checked="" type="checkbox"/> Společné vstupní údaje			
1.1	Jednotky výpočtu	SI Units (N, mm, kW...)	
1.2	Zatížení spoje		
1.3	Přenášený výkon	P	0,01 [kW]
1.4	Otáčky hřídele	n	1,0 [/min]
1.5	Krouticí moment	T	62,07 [Nm]
1.6	Axiální síla	F _A	750,0 [N]
1.7	Způsob zatížení, provozní parametry		
1.8	Charakter pohonu	Rovnoměrný	
1.9	Typ zatížení	Plynulý	
1.10	Charakter provozu	Jednosměrný	
1.11	Počet rozběhů v tisících	100	
1.12	Předběžný návrh průměru hřídele		
1.13	Vnitřní průměr dutého hřídele	d ₀	0,000 [mm]
1.14	Požadovaná bezpečnost		1,30
1.15	Minimální průměr hřídele	d _{min}	14,7 [mm]
1.16	Materiál hřídele (min. - max. pevnost v tahu)		
1.17	A ... Konstrukční ocel (350 - 700)		650 [MPa] <input checked="" type="checkbox"/>
1.18	Mez pevnosti v tahu	R _m	650,0 [MPa]
1.19	Mez kluzu	R _e	377,0 [MPa]
1.20	Dovolené napětí v krutu	τ _D	264,0 [MPa]
1.21	Dovolený tlak	p _D	105,0 [MPa]
1.22	Modul pružnosti v tahu	E	210000 [MPa]
1.23	Poissonovo číslo	ν	0,30
1.24	Součinitel tepelné roztažnosti	α	11,50 [10 ⁻⁶ /°C]
1.25	Materiál náboje (min. - max. pevnost v tahu)		
1.26	A ... Konstrukční ocel (350 - 700)		400 [MPa] <input checked="" type="checkbox"/>
1.27	Mez pevnosti v tahu	R _m	400,0 [MPa]
1.28	Mez kluzu	R _e	232,0 [MPa]
1.29	Dovolený tlak	p _D	93,0 [MPa]
1.30	Modul pružnosti v tahu	E	210000 [MPa]
1.31	Poissonovo číslo	ν	0,30
1.32	Součinitel tepelné roztažnosti	α	11,50 [10 ⁻⁶ /°C]

obr. 18 Vstupní parametry výpočtu

Návrh rozměrů spoje a návrh šroubu

7.0 <input checked="" type="checkbox"/> Návrh rozměrů spoje			
7.1 Parametry spoje			
7.2 Provedení náboje	B ... Jednostranně rozříznutý náboj		
7.3 Čistota stykových ploch	Odmaštěné povrchy		
7.4 Součinitel tření	μ	0,18	0,10
7.5 Tvarový koeficient	K_F	0,75	
7.6 Požadovaná bezpečnost proti prokluzu		1,50	
7.7 Požadovaná pevnostní bezpečnost		1,50	
7.8 Zatížení spoje			
7.9 Provozní koeficient	K_S	1,00	1,00 <input checked="" type="checkbox"/>
7.10 Provozní krouticí moment	T_S	62,07	[Nm]
7.11 Celkové provozní zatížení spoje	F_S	7 794,97	[N]
7.12 Rozměry spoje			
7.13 Vnitřní průměr dutého hřídele	d_0	0	[mm]
7.14 Minimální průměr hřídele	d_{min}	14,7	[mm]
7.15 Průměr hřídele	d	16,000	16 [mm]
7.16 Min. funkční délka spoje	L_{min}	37,055	[mm]
7.17 Funkční délka spoje	L	50,000	50 [mm]



7.18 Montážní předpětí, návrh spojovacího šroubu			
7.19 Silová ramena	e_F / e_N	20,000	8,000 [mm]
7.20 Počet spojovacích šroubů	i	3	
7.21 Dovolené montážní předpětí		3675,9 ~ 4960	[N]
7.22 Montážní předpětí	F_0	3900,0	[N] <input checked="" type="checkbox"/>
7.23 Materiál spojovacího šroubu	R_e	640,0	ISO 8.8 [MPa]
7.24 Min. doporučená velikost závitů		M5	

obr. 19 ávrh rozměrů spoje a návrh šroubu

Únosnost a pevnostní kontrola

Jak je patrné, z výpočtu daný svěrný spoj je dobře navrhnut a odpovídá danému zatížení. Celkové parametry pevnosti, únosnosti a výsledných bezpečností můžeme vidět v přehledu na obr. 20.

8.0 <input checked="" type="checkbox"/> Únosnost a pevnostní kontroly spoje			
8.1 Únosnost spoje			
8.2 Celková svěrná (normální) síla	N	29250,0	[N]
8.3 Stykový tlak	p	36,56	[MPa]
8.4 Třecí síla spoje	F_f	12405,4	[N]
8.5 Celkové provozní zatížení spoje	F_S	7795,0	[N]
8.6 Bezpečnost proti prokluzu		1,59	
8.7 Kontrola spojovacího šroubu			
8.8 Mez kluzu materiálu šroubu	R_e	640	[MPa]
8.9 Průměr závitů	d	5	[mm]
8.10 Uťahovací moment	M	3,7	[Nm]
8.11 Srovnávací napětí v jádře závitů	σ	394,9	[MPa]
8.12 Bezpečnost na mezi kluzu		1,62	
8.13 Kontrola spoje na otláčení			
8.14 Dovolený stykový tlak	p_D	93	[MPa]
8.15 Max. stykový tlak	p_{max}	48,8	[MPa]
8.16 Bezpečnost		1,91	
8.17 Kontrola hřídele na krut			
8.18 Dovolené napětí v krutu	τ_D	264	[MPa]
8.19 Srovnávací napětí	τ	154,4	[MPa]
8.20 Bezpečnost		1,71	
8.21 Kontrola dutého hřídele			
8.22 Dovolené napětí v tahu	σ_D	377	[MPa]
8.23 Srovnávací napětí	σ	0,0	[MPa]
8.24 Bezpečnost		0,00	

obr. 20 Únosnost a pevnostní kontrola svěrného spoje

6.2 Návrh ozubeného hřebene

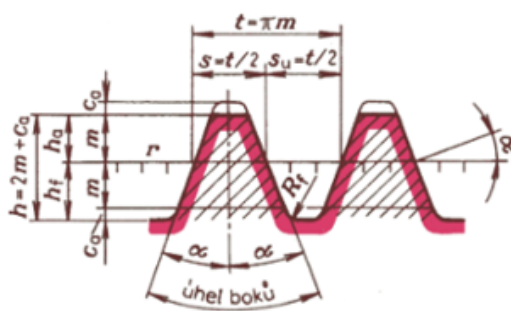
V této části navrhujeme ozubený hřeben, jeho základní parametry, geometrii a materiál. Provedeme základní výpočet ozubeného hřebene, provedeme silový rozbor a pevnostně zkontrolujeme.

Vstupní parametry

Z požadavku menšího odstupňování určíme základní parametr ozubení a to rozteč, z které následně určíme hlavní parametr ozubení, modul.

V současném stavu je výsuv 70 mm rozdělen po 7 krocích, z toho můžeme určit pomyslnou rozteč jednotlivých kroků na 10 mm. Z požadavku menšího odstupňování navrhujeme dva krát menší rozteč kroků tzn., výsuv 70 mm rozdělíme do 14 kroků s pomyslnou roztečí 5 mm.

Při návrhu základních parametrů ozubení bude použit standartní profil ozubení viz. obr. 21.



výška hlavy zubu	$ha = m$
výška paty zubu	$hf = m + Ca$
výška zubu	$h = ha + hf$
hlavová vůle	$Ca = 0,25 * m$
zaoblení paty zubu	$Rfmax = 0,4 * m$
úhel boků zubu	$\alpha = 20^\circ$

obr. 21 Schéma ozubení

Výpočet ozubení

Výpočet modulu určíme z dané pomyslné rozteče 5 mm pomocí vztahu vycházejícího ze standardního profilu ozubení.

$$p = \pi * m$$

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{5}{\pi} = 1,5915 \text{ mm}$$

Dle normalizované řady ČSN 01 4686 [4] byla navržena normalizovaná velikost modulu a určení přesných parametrů ozubení.

Navrh dle ČSN 01 4686 [4] modul $m = 1,5 \text{ mm}$

tab. 8 Parametry ozubení

výška hlavy zubu	$ha = m = 1,5$
výška paty zubu	$hf = m + Ca = 1,875$
výška zubu	$h = ha + hf = 3,375$
hlavová vůle	$Ca = 0,25 * m = 0,375$
zaoblení paty zubu	$Rfmax = 0,4 * m = 0,6$
úhel boků zubu	$\alpha = 20^\circ$
rozteč	$p = \pi * m = 4,7123$

Materiál hřebene

Z požadavku vyplývá vysoká odolnost vůči otěru, a eliminace hlučnosti. Při použití oceli by daný uzel nebyl ničím přínosný a nesplňoval by dané požadavky. Otěr by opotřebovával hřeben i páku a nepříjemná hlučnost by nebyla odstraněna. Při použití plastu by se otěr i hlučnost dali částečně eliminovat. Materiálem splňujícím tyto požadavky je Hostaform C neboli polyacetal (POM). [5]

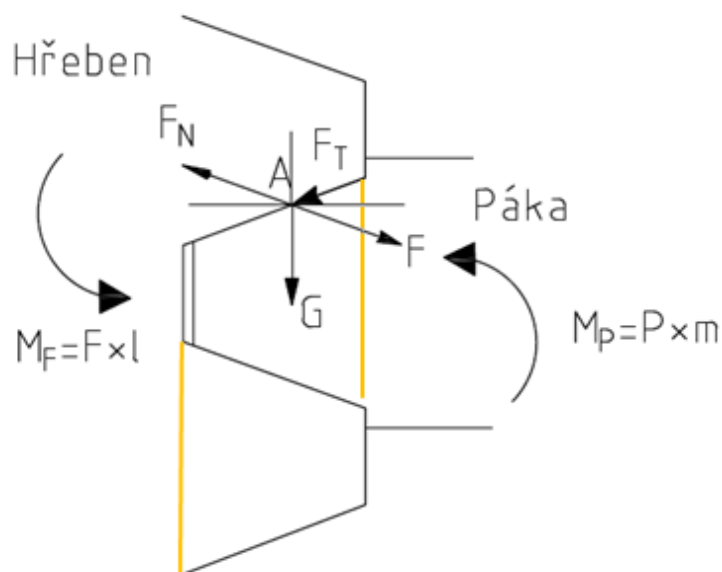
Hostaform C se vyznačuje těmito vlastnostmi:

- vysokou houževnatostí i při nízkých teplotách až do -40°C
- vynikající odolností proti oděru
- dobrými kluznými vlastnostmi
- vysokou tuhostí a pevností v širokém teplotním rozmezí
- odolností vůči opakovaným rázům
- velmi dobrou teplotní odolností
- vynikající rozměrovou stálostí
- dlouhodobou odolností vůči creepu
- vysokou únavovou pevností v ohybu
- vynikající odolností vůči vlhkosti, chemikáliím a pohonným hmotám
- snadnou zpracovatelností vstřikováním a vytlačováním
- vhodností pro dvou komponentní vstřikování

Díky své všestrannosti nachází POM Hostaform C použití v mnoha různých odvětvích a četných aplikacích. Patří sem například převodové soustavy, různé kluzné prvky, pružiny, spony, rychlospojky atd. POM Hostaform C se také používá při výrobě fólií, tyčí a desek, které lze opracovat s vysokou rozměrovou přesností.

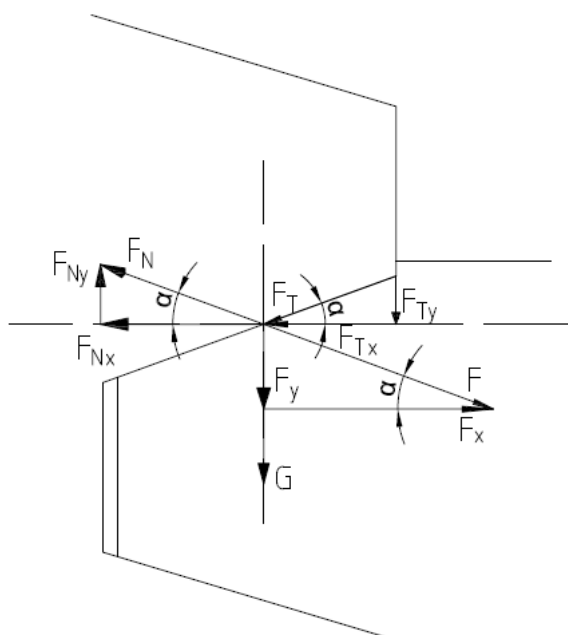
Silový rozbor

Síla F je vyvozena zatížením mechanismu v ose výsuvně tyče a rozkládá se do složek F_x a F_y . Moment M_F je vyvozen posunutím dané zátěžové síly do bodu A . Moment M_P vytváří pružina zavěšená na páce. Síla F_N a F_T je vyvozena dotykem páky a hřebene. Tíha od hmotností páky je G .



obr. 22 Silové zatížení

Rozklad sil na jednotlivé složky.



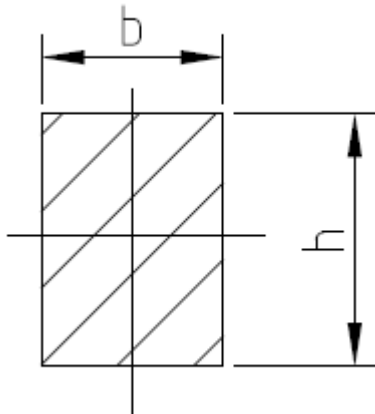
obr. 23 Detailní rozbor sil

6.3 Kontrola zubu na stříh

Průřez je znázorněn oranžovou barvou na obr. 22.

Kontrola zubu páky

$b = 3,64 \text{ mm}$, $h = 5 \text{ mm}$, $G = 0,875 \text{ N}$, $F_y = 256,5 \text{ N}$, $\tau_{Ds} = 40 \text{ MPa}$ [6]



$$\tau_s \leq \tau_{Ds}$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{G + F_y}{b * h} \leq \tau_{Ds}$$

$$\tau_s = \frac{256,5 + 0,875}{3,64 * 5} = 14,079 \text{ MPa}$$

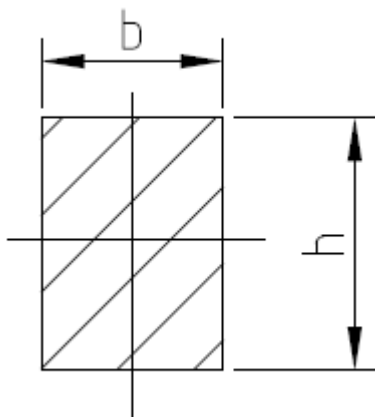
$$14,079 \text{ MPa} < 40 \text{ MPa}$$

V případě dosažených parametrů vyhovuje podmínce

obr. 24 Průřez materiálu páky

Kontrola zubu hřebene

$b = 8 \text{ mm}$, $h = 12 \text{ mm}$, $G = 0,875 \text{ N}$, $F_y = 256,5 \text{ N}$, $\tau_{Ds} = 20 \text{ MPa}$ [7]



$$\tau_s \leq \tau_{Ds}$$

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{G + F_y}{b * h} \leq \tau_{Ds}$$

$$\tau_s = \frac{256,5 + 0,875}{8 * 12} = 2,69 \text{ MPa}$$

$$2,69 \text{ MPa} < 20 \text{ MPa}$$

V případě dosažených parametrů vyhovuje podmínce

obr. 25 Průřez materiálu hřebene

7. Samosvornost mechanismu

Samosvornost mechanismu byla určena dle silového rozboru obr. 23. Ze silového rozboru je patrná podmínka samosvornosti.

$$F_x \leq F_{Tx} \quad (1)$$

Vstupní hodnoty

tab. 9 Vstupní hodnoty pro vpočet samosvornosti

součinitel tření	f	0,21	-
zatížení	F	750	N
síla pružiny	P	45,5	N
tíha páky	G	0,785	N
vzdálenost posunutí zatížení	l	0,0725	m
vzdálenost pružiny od osy	m	0,0455	m
moment zatížení	M _F	54,375	N*m
moment pružiny	M _P	2,04	N*m
úhel záběru	α	20	°

Výpočet samosvornosti

Rovnice rovnováhy v ose x, y a momentová rovnováha k bodu A

$$\begin{aligned} \sum F_{ix} &= 0 \\ F_x + F_{Nx} - F_{Tx} &= 0 \\ F * \cos \alpha + F_N * \cos \beta - F_T * \cos \alpha &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{iy} &= 0 \\ -F_y - G - F_{Ny} - F_{Ty} &= 0 \\ -F * \sin \alpha - G - F_N * \sin \beta - F_T * \sin \alpha &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sum M_{iA} &= 0 \\ M_F - M_P &= 0 \\ F * l - P * m &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Určení jednotlivých složek sil zatížení F

$$F_x = F * \cos \alpha \quad (5)$$

$$F_y = F * \sin \alpha \quad (6)$$

Rozklad třecí síly pomocí normálové síly a koeficientu tření

$$F_T = F_N * f \quad (7)$$

Do rovnice (3) dosadím předchozí vyjádření (5), (6) a (7) a poté vyjádřím neznámou normálovou sílu.

$$\begin{aligned} -G - F * \sin \alpha + F_N * \sin \alpha - F_N * f * \sin \alpha &= 0 \\ -G - F * \sin \alpha - F_N * (f * \sin \alpha + \sin \alpha) &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$F_N = \frac{-G - F * \sin \alpha}{(f * \sin \alpha + \sin \alpha)} = \frac{-0,785 - 750 * \sin 20^\circ}{(0,21 * \sin 20^\circ + \sin 20^\circ)} = -621,7 \text{ N} \quad (9)$$

Výpočet složky F_{Tx}

$$\begin{aligned} F_x - F_{Nx} &= F_{Tx} \\ 750 * \cos 20^\circ - (-621,7) * \cos 20^\circ &= 1288,97 \text{ N} \end{aligned} \quad (10)$$

Výsledky dosazený do podmínky samosvornosti (1)

$$\begin{aligned} F_x &\leq F_{Tx} \\ 705 \text{ N} &\leq 1288,97 \text{ N} \end{aligned}$$

V případě dosažených parametrů je podmínka samosvornosti splněna

8. Výrobní náklady

Cílem bylo určit výrobní náklady jednotlivých komponentů. Důležitým prvkem je ozubený hřeben, z tohoto důvodu byly vybrány dva dodavatele. Výběr vhodnějšího hřebenu posoudí technolog.

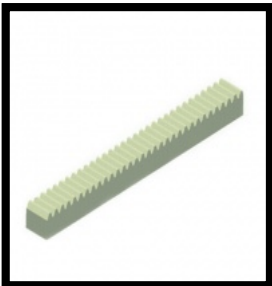
Ozubený hřeben firmy Matis industrie components. Hřeben je z materiálu Hostaform C s úhlem záběru 20°, modulem 1,5 a rozměry 12x12x250 mm. [9]

tab. 10 Ozubený hřeben Matis

	Dodavatel	Matis industrie components	Úprava	řezání	20 Kč
	Materiál	Hostaform C		vrtání	35 Kč
	Technologie	Vstřikování		cena úpravy	55 Kč
	Kód	ZH 1525			
	Cena	157,06 Kč			
	Úprava	55 Kč			
	Celková cena	212,06 Kč			

Ozubený hřeben firmy T.E.A Technik s.r.o. Hřeben je z materiálu Hostaform C s úhlem záběru 20°, modulem 1,5 a rozměry 12x12x250 mm. [8]

tab. 11 Ozubený hřeben T.E.A Technik

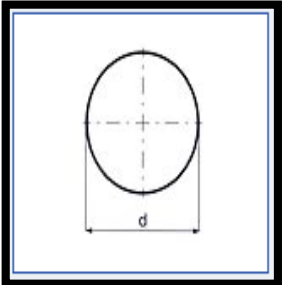
	Dodavatel	T.E.A Technik s.r.o.	Úprava	řezání	20 Kč
	Materiál	Hostaform C		vrtání	35 Kč
	Technologie	Vstřikování		cena úpravy	55 Kč
	Kód	P 15250			
	Cena	210 Kč			
	Úprava	55 Kč			
	Celková cena	265 Kč			

Dalším prvkem je výsuvná tyč. Výrobcem je firma Ferona a.s. a dodává tuto tyč s průměrem $\phi 16$ h9 a délkou 3m. Určil jsem cenu tyče za 1m a poté za požadovanou velikost. [10]

tab. 12 Tabulka ceny tyče

Cena za 3 m	37,5 Kč
Cena za 1 m	12,50 Kč
Cena za 0,275 m	x Kč
$x = 12,50 * 0,275$	3,50 Kč

tab. 13 Cena nákladů na výrobu tyče

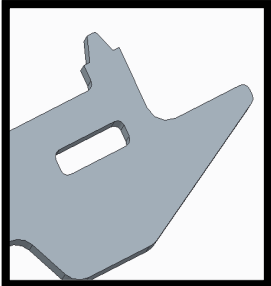
	Dodavatel	Ferona a.s.	Úprava	řezání	20 Kč
	Materiál	S235JRC - 11 373		vrtání	35 Kč
	Technologie	Tažení za studena		cena úpravy	55 Kč
	Kód	6*1037Z			
	Cena	3,50 Kč			
	Úprava	55 Kč			
	Celková cena	58,50 Kč			

Následující komponenta je páka zámku. Je vyrobena z plechu tloušťky 5mm pomocí vypalování. Cenu materiálu jsem určil pomocí ceny za 1 kg tohoto materiálu a přepočtl podle vlastní hmotnosti výrobku. Výrobcem je firma Kondor hutní materiály, která nabízí i úpravy těchto plechů. [12]

tab. 14 Tabulka ceny materiálu páky

Cena plechu za 1 kg	25,70 Kč
Cena plechu za 0,08 kg	x Kč
$x = 25,70 * 0,08$	2,00 Kč

tab. 15 Cena nákladů na výrobu páky

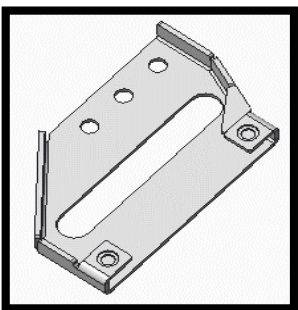
	Dodavatel	Kondor hutní materiály	Úprava	vypalování	40 Kč
	Materiál	Ocel		propal	2 Kč
	Technologie	Válcování za tepla		cena úpravy	42 Kč
	Kód	306200			
	Cena	2 Kč			
	Úprava	42 Kč			
	Celková cena	44 Kč			

Následující díl je plechový držák ozubeného hřebene. Je vytvořen jako svařenec z plechu o tloušťce 2mm. Cenu materiálu jsem určil pomocí ceny za 1 kg tohoto materiálu a přepočtl podle vlastní hmotnosti výrobku. [11]

tab. 16 Tabulka ceny plechu držáku

Cena plechu za 1 kg	34,40 Kč
Cena plechu za 0,092 kg	x Kč
$x = 34,40 * 0,092$	3,20 Kč

tab. 17 Cena nákladů na výrobu držáku

	Dodavatel	Kondor hutní materiály	Úprava	vypalování	20 Kč
	Materiál	Ocel		propal	2 Kč
	Technologie	Válcování za studena		ohýbání	60 Kč
	Kód	341400		vrtání	35 Kč
				svařování	65 Kč
	Cena	3,20 Kč		cena úpravy	182 Kč
	Úprava	182 Kč			
	Celková cena	185,20 Kč			

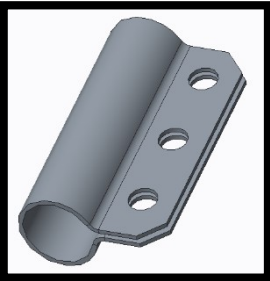
Další komponenta je svěrka, která zajišťuje svěrné spojení. Je vytvořena z jednoho kusu plechu o tloušťce 2mm a ohnutá do požadovaného tvaru. Cenu materiálu jsem určil pomocí ceny za 1 kg tohoto materiálu a přepočtl podle vlastní hmotnosti výrobku. [11]

Cena tohoto dílu je určena orientačně dle nabízených služeb firmy Kondor. Jelikož je obtížné takovýto tvar vyrobit konvenčními metodami bylo by vhodné navrhnout speciální nástroj na výrobu tohoto dílu.

tab. 18 Tabulka ceny plechu svěrky


Cena plechu za 1 kg	34,40 Kč
Cena plechu za 0,069 kg	x Kč
$x = 34,40 * 0,069$	3,00 Kč

tab. 19 Cena nákladů na výrobu svěrky

	Dodavatel	Kondor hutní materiály	Úprava	stříhání	20 Kč
	Materiál	Ocel		ohýbání	60 Kč
	Technologie	Válcování za studena		vrtání	35 Kč
	Kód	341400		cena úpravy	115 Kč
	Cena	3 Kč			
	Úprava	115 Kč			
	Celková cena	118 Kč			


Zde je uvedena cena za použitý spojovací materiál. [13]

tab. 20 Cena za spojovací materiál

	Dodavatel	Spojovací-materiál.net	
	Materiál	Ocel 10.9 pozinkováno	
			Cena za 1ks
		Šroub M6x12 ISO 7380	1 Kč
		Šroub M4x8 ISO 7380	0,50 Kč
		Matice M6-04 ISO 4035	0,20 Kč

Odhadovaná cena za montáž. Cenu jsem určil de současné nabídky pracovních služeb přes portál Freelance-market.cz [14]

tab. 21Cena za montáž

	Montáž	Freelance - market.cz
	zámečnick	200 Kč / 1 hod
	čas	2 hod
	Cena	400 Kč

Zde je uvedena celková cena výrobních nákladů za navržený mechanismus. Tato cena je ve dvou variantách, s tím že varianta 1. je s ozubeným hřebenem od firmy Matis a varianta 2. je od firmy T.E.A. Technik. Tuto cenu je potřeba navýšit o 10 až 15 % jako cenovou rezervu. Celková cena je uvedena za jeden mechanismus, musíme brát v potaz, že navržený mechanismus je na zařízení použit dvakrát, cena tedy bude dvojnásobná.

tab. 22 Celková cena

Celková cena	
1. varianta	953 Kč
2. varianta	1 006 Kč

Závěr

Cílem bakalářské práce, bylo seznámit se s mechanismem, analyzovat jeho stav a funkčnost. Zaměřit se na nevýhody stávajícího řešení a navrhnout odpovídající prvky k odstranění těchto nevýhod. Dále pak vytvoření několika variant, které by dané řešení vylepšili. Porovnání variant mezi sebou a vybrat nejvhodnější variantu, tu detailně zpracovat, vytvořit odpovídající výpočtovou zprávu a vytvořit technicko-ekonomické zhodnocení. K vybrané variantě byl vytvořen 3D model a celková technická dokumentace.

Na základě výběru varianty, jejího zpracování a zhodnocení byla vytvořena srovnávací tabulka, která srovná požadavky a jejich dosažení či nedosažení.

Výchozí body	kluzné pouzdra	Dosaženo	Výchozí body zůstaly zachovány
	rozměry odlitku		
	konstrukce odlitku		
Výsuv	min. 70 mm	Dosaženo	Výsuv 70 mm
Odstupňování	5 mm	Dosaženo	Odstupňování menší než 5 mm pomocí ozubení
Materiály	Nerezová ocel	Dosaženo	Mechanismus byl navržen z dostupných materiálů
	Konstrukční ocel		
	Plasty		
Zástavba	nízká	Nedosaženo	
Speciální požadavek	odstranění hlučnosti	Dosaženo	Odstranění otěru a hlučnosti dosaženo pomocí plastového ozubeného hřebene
	odstranění otěru		

Jak je patrné, požadavek zástavby nebyl dosažen, vlivem velikosti plastového ozubeného hřebene. Místo navíc pro mechanismus se dosáhne úpravou čalouněné plochy opěrky nohy.

V dalším postupu práce by bylo vhodné zaměřit se na výrobu svěrky a navrhnout výrobní nástroj. Dále zaměřit se na problematiku plastových dílů a jejich namáhání.

Poděkování

Rád bych věnoval poděkování doc. Ing. Zdenkovi Konečnému, Ph.D. za vedení při psaní této bakalářské zprávy a za jeho cenné rady a nápady. Také bych chtěl poděkovat Ing. Bronislavu Siudovy za podporu při psaní této bakalářské zprávy a za jeho cenné rady.

Seznam použité literatury

- [1] Borcad.Cz: O společnosti [online]. Fryčovice, 2012 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.borcad.cz/o-spolecnosti>
- [2] Blokovací plynové pružiny: BANSBACH Katalog CZ. *Bibus.cz: Supporting Your Succes* [online]. Brno [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.bibus.cz/fileadmin/editors/countries/bisro/Produkty/Bansbach/BANSBACH_katalog_CZ.pdf
- [3] *MITCalc: Mechanical, Industrial and Technical Calculations* [online]. Děčín, 2016 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: http://www.mitcalc.com/index_cz.htm
- [4] ČSN 01 4686-3. *Pevnostní výpočet čelních a kuželových kol. Kontrolní výpočet čelních ozubených kol*. Praha. 198. Český normalizační institut, 1988. 35 s.
- [5] Resinex: POM Hostaform. *Resinex: Distribution of Plastic and Elastomers* [online]. Praha [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.resinex.cz/produkty/hostaform.html>
- [6] Mechanické hodnoty základních konstrukčních materiálů. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: Pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. Čtvrté doplňkové vydání. Úvaly: Albra, 2008, s. 54-55. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [7] Vlastnosti polyoxymethylen copolymer: mechanické vlastnosti. *LPM.cz: Technické díly z plastu* [online]. Jičín [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://lpm.cz/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1202&lng=1>
- [8] Plastové ozubené hřebeny. *T.E.A. Technik: Lineární vedení a pohony* [online]. Popůvky u Brna, 2007 [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.teatechnik.cz/plastove/>
- [9] Ozubený hřeben plast. *Matis Shop: Industrie compoments* [online]. Brno [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.matis-shop.cz/matis-shop/eshop/2-1-STROJNI-SOUCASTI/19-2-OZUBENE-HREBENY/5/288-OZUBENY-HREBEN-M1-5-PLAST-12x12-L-250mm>
- [10] Tyč kruhová tažena za studena. *Ferona a.s.: e-shop* [online]. Praha [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://eshop.ferona.cz/detail/28563/tyc-kruhova-tazena-za-studena-en-10278-uchylka-h9-prumer-16>
- [11] Plechy: plech pozinkovaný. *Kondor.cz: Prodej a dělení hutních materiálů* [online]. Praha [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.kondor.cz/plech-poz-2-1x2m/d-78634/>
- [12] Plechy: plech černý. *Kondor.cz: Prodej a dělení hutních materiálů* [online]. Praha [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.kondor.cz/plech-cerny-5mm-125x25m/d-78812/>
- [13] *Spojovací materiál: šrouby* [online]. Hrušovany nad Jevišovkou [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net/>
- [14] *Freelance-market.cz: Řemeslník* [online]. Praha [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.freelance-market.cz/c/%C5%98EMESLN%C3%ADK>

Přílohy

- Příloha A: CD médium – bakalářská práce v elektronické podobě, přílohy v elektronické podobě, 3D model.
- Příloha B: Sestava řešení - 000_sestava_reseni_nove
- Příloha C: Sestava svěrného spoje - 011_sverné_spojeni
- Příloha D: Ozubený hřeben - 59_Oz_hreben
- Příloha E: Svěrka - 56_sverka
- Příloha F: Páka zámku - 27_zub_paka